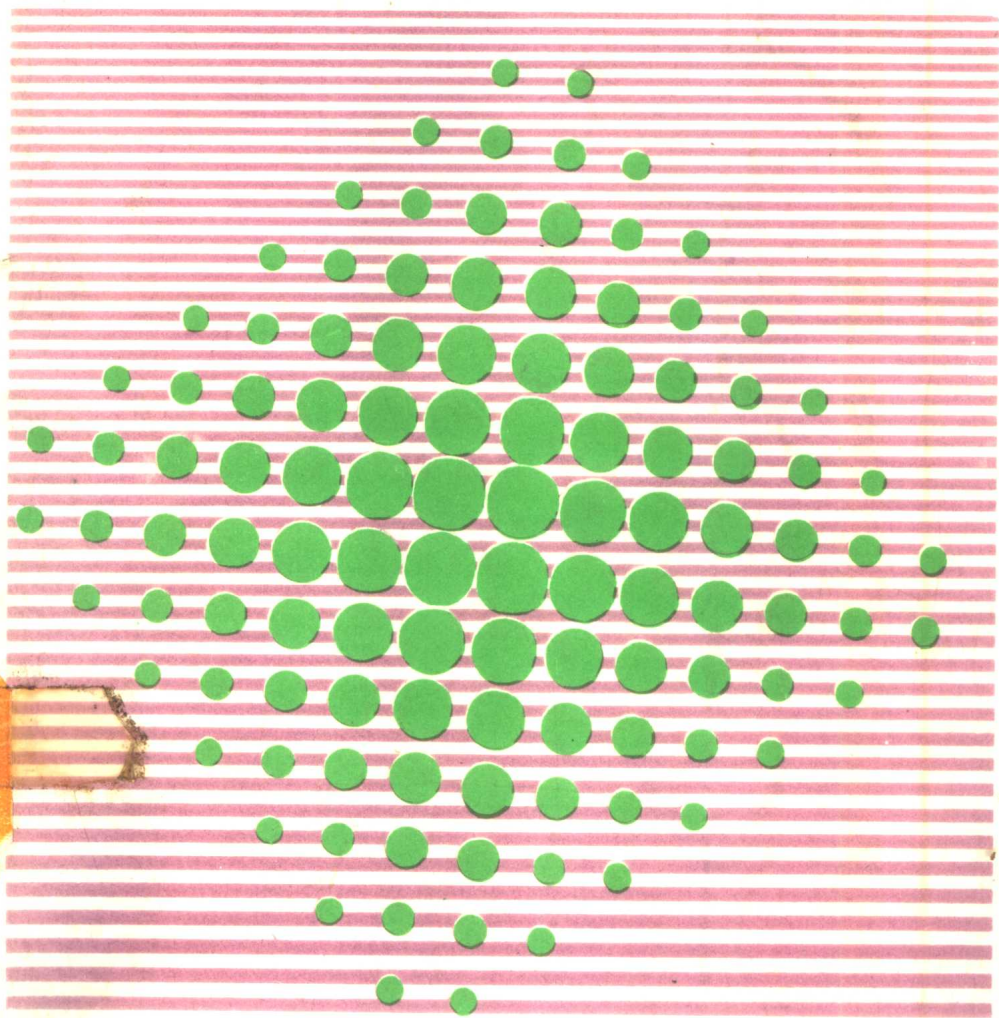


科技用書

純水·超純水製造法

製程技術與應用系統



賴耿陽 譯著

復漢出版社印行

34271

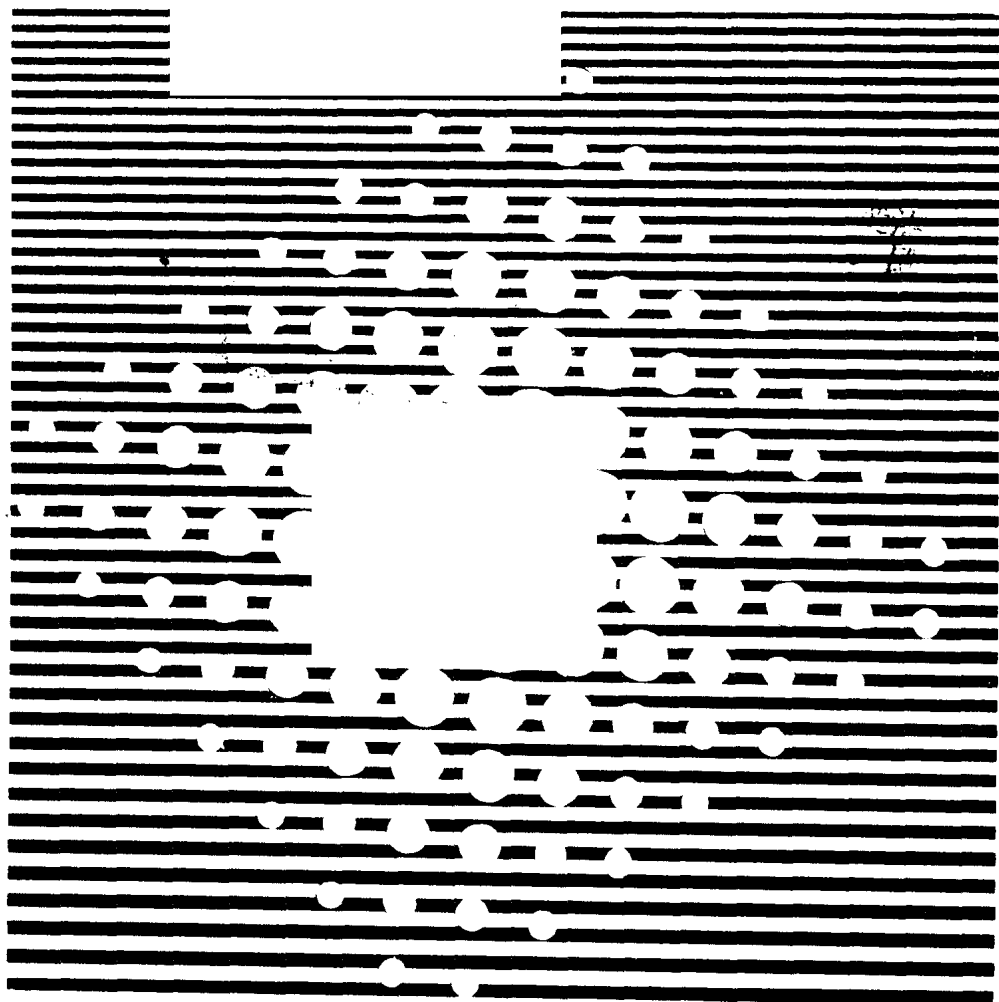
S77710

5717

科技用書

純水·超純水製造法

製程技術與應用系統



賴耿陽 譯著

復漢出版社印行

中華民國七十五年五月出版

純水·超純水製造法

原著者：大矢晴彦

譯著者：賴耿

出版者：復漢出版社

地址：台南市德光街六五一號

郵政劃撥〇〇三二五九一一三號

發行人：沈岳林

印刷者：國發印刷廠

版權所有
翻印必究

B 平裝 二四〇元
精裝 二八〇元

本社業經行政院新聞局核准登記局版台業字第〇四〇二號

序

水為一切生命的根源。也是人類生活上不可或缺的資源之一。古來莫不以如何確保、控制、分配此重要水資源為維持生活的要件。為達成農業生產的目的，埃及、米索不達米亞等古代文明都大規模治水。

歷史演變到人口開始集中都市後，以古羅馬的水道為代表，確保良質飲水的上水道很發達，19世紀初有濾水而飲的觀念，19世紀末完成近代水道。

近代顯著發展的工業也用水為資源之一，需要量激增，產業的發展與人口的增加互奪有限的水資源，同時引起水資源的質劣化。最近因工業高度化，特別要求清潔的水。出現高度水處理技術，有效處理劣質而少的水資源，提升到符合目的的水質。

本書的基礎篇先解說製造純水和超純水的高度水處理技術中的新式要素技術—離子交換法、蒸餾法、膜分離法、紫外線殺菌法。接著敘述管理純水或超純水系統，供給一定品質之水所必要的水中生菌、微粒子、離子及有機物檢查、分析法。

使用純水及超純水時，使用時的軟體技術也是達成使用目的的要件。應用篇敘述鍋炸用水、電子工業用水、製藥用水、注射用水、化粧品用水、醫院用水、實驗室用水的具體應用例。

本書承蒙活躍於第一線的 23 名執筆者協力，有幸使寶貴的資料流傳於世，謹致謝意。

編者

目 次

I 基礎

第一章 總論

| | |
|--------------------|----|
| 1-1 水的性質及不純物與其影響 | 3 |
| 1-1-1 水的構造與性質 | 3 |
| 1-1-2 天然水 | 4 |
| 1-1-3 純水、超純水 | 6 |
| 1-1-4 水的純度 | 6 |
| 1-1-5 各種工業中不純物的影響 | 6 |
| 1-2 醫藥品等的製造用水 | 8 |
| 1-2-1 前言 | 8 |
| 1-2-2 醫藥品製造用水的種類 | 8 |
| 1-2-3 醫藥品製造用水的水質規格 | 9 |
| 1-2-4 結語 | 17 |

第二章 要素技術

| | |
|--------------------|----|
| 2-1 離子交換法 | 18 |
| 2-1-1 離子交換樹脂的種類 | 18 |
| 2-1-2 離子交換平衡 | 22 |
| 2-1-3 利用固定床的離子交換處理 | 24 |
| 2-1-4 純水製造系統 | 29 |

| | |
|---------------------------|-----------|
| 2-2 蒸餾法 | 32 |
| 2-2-1 前言..... | 32 |
| 2-2-2 蒸餾法的原理..... | 33 |
| 2-2-3 蒸餾裝置的分類..... | 34 |
| 2-2-4 裝置各論..... | 34 |
| 2-2-5 蒸餾水的水質..... | 43 |
| 2-2-6 裝置與保養..... | 44 |
| 2-3 逆滲透法 | 45 |
| 2-3-1 滲透現象與逆滲透..... | 45 |
| 2-3-2 逆滲透法的歷史..... | 45 |
| 2-3-3 逆滲透膜..... | 46 |
| 2-3-4 模組..... | 48 |
| 2-3-5 透過機構與輸送方程式..... | 52 |
| 2-3-6 濃度分極..... | 53 |
| 2-3-7 膜的壓密化..... | 54 |
| 2-3-8 前處理法..... | 54 |
| 2-4 限外過濾法 | 56 |
| 2-4-1 前言..... | 56 |
| 2-4-2 限外過濾法的特色..... | 57 |
| 2-4-3 限外濾膜的種類..... | 57 |
| 2-4-4 膜構造..... | 58 |
| 2-4-5 膜透過理論..... | 59 |
| 2-4-6 限外濾膜的性能評價法..... | 61 |
| 2-4-7 對純水系利用限外過濾法..... | 64 |
| 2-5 精密過濾法 | 65 |
| 2-5-1 前言..... | 65 |
| 2-5-2 精密濾膜的製法與孔徑等的評價..... | 65 |

| | | |
|------------|---------------------|-----------|
| 2-5-3 | 精密濾膜在利用上的注意事項..... | 72 |
| 2-5-4 | 精密濾膜的運轉管理..... | 75 |
| 2-5-5 | 結語..... | 77 |
| 2-6 | 紫外線殺菌法 | 77 |
| 2-6-1 | 前言..... | 77 |
| 2-6-2 | 紫外線的殺菌機構..... | 78 |
| 2-6-3 | 紫外線殺菌裝置的種類與構造..... | 80 |
| 2-6-4 | 紫外線殺菌裝置的特性..... | 82 |
| 2-6-5 | 結語..... | 85 |

第三章 水質的檢查、分析

| | | |
|------------|------------------------------|-----------|
| 3-1 | 微生物 | 86 |
| 3-1-1 | 前言..... | 86 |
| 3-1-2 | 以培養法測定 | 87 |
| 3-1-3 | 總細菌數測定法..... | 89 |
| 3-1-4 | 以直流檢鏡法調查純水中的微生物、微粒子 | 89 |
| 3-1-5 | 純水製造線中的微生物檢查..... | 91 |
| 3-1-6 | 結語..... | 92 |
| 3-2 | 微粒子 | 92 |
| 3-2A | 以光學顯微鏡測定微粒子..... | 92 |
| 3-2A-1 | 前言..... | 92 |
| 3-2A-2 | 高純度水的微細粒子測定法..... | 93 |
| 3-2A-3 | 微細粒子的測定方法與注意事項..... | 93 |
| 3-2B | 利用光、超音波測定微粒子..... | 102 |
| 3-2B-1 | 純水、超純水的微粒子管理..... | 102 |
| 3-2B-2 | 直接檢鏡法 | 103 |

| | | |
|------------|---------------------------|------------|
| 3-2B-3 | 利用光透過法及光散射法的自動微粒子計數器..... | 104 |
| 3-2B-4 | 利用超音波的自動微粒子計數器..... | 106 |
| 3-2B-5 | 微粒子測定法的未來發展..... | 107 |
| 3-3 | 離子..... | 107 |
| 3-3-1 | 比電阻..... | 107 |
| 3-3-2 | 無炎原子吸光法..... | 109 |
| 3-3-3 | 離子層析法..... | 111 |
| 3-4 | 有機物..... | 112 |
| 3-4-1 | 概要..... | 112 |
| 3-4-2 | TOC分析裝置的原理與構成..... | 113 |
| 3-4-3 | 測定上的注意事項..... | 115 |

II 應用

第一章 鍋爐用水

| | | |
|------------|------------------|------------|
| 1-1 | 系統..... | 119 |
| 1-1-1 | 補給水處理裝置..... | 119 |
| 1-1-2 | 凝結水處理裝置..... | 121 |
| 1-1-3 | 前置過濾器..... | 122 |
| 1-1-4 | 凝結水脫鹽裝置..... | 123 |
| 1-2 | 實施例..... | 124 |
| 1-2-1 | 補給水處理裝置..... | 124 |
| 1-2-2 | 前置過濾器(電磁濾器)..... | 124 |
| 1-2-3 | 凝結水脫鹽裝置..... | 127 |

| | |
|------------------------|-----|
| 1-3 保養管理 | 128 |
| 1-3-1 離子交換樹脂 | 128 |
| 1-3-2 凝結水脫鹽裝置 | 128 |
| 1-3-3 休止時的樹脂保管方法 | 129 |
| 1-3-4 前置濾器 | 129 |

第二章 電子工業用水

| | |
|----------------------------------|-----|
| 2-1 超純水製造系統 | 130 |
| 2-2 一次純水系統 | 132 |
| 2-2-1 前處理裝置 | 132 |
| 2-2-2 凝集沈澱裝置(或凝集浮上裝置)與過濾裝置 | 132 |
| 2-2-3 凝集過濾裝置 | 133 |
| 2-2-4 逆滲透裝置 | 133 |
| 2-2-5 離子交換裝置 | 135 |
| 2-2-6 附帶設備 | 136 |
| 2-3 一次純水系統的實施例 | 136 |
| 2-4 一次純水系統的保養管理 | 139 |
| 2-5 二次純水系統 | 142 |
| 2-6 二次純水系統的實施例 | 144 |
| 2-6-1 超純水製造裝置的流程構成 | 145 |
| 2-6-2 裝置的計裝控制 | 146 |
| 2-6-3 超純水配管的施工 | 147 |
| 2-6-4 裝置的試運轉例 | 147 |

| | |
|-----------------------|-----|
| 2-7 二次純水系統的保養管理 | 148 |
|-----------------------|-----|

第三章 製藥、化粧品用水

| | |
|--------------------------|-----|
| 3-1 醫藥品製造用水 | 151 |
| 3-1-1 前言 | 151 |
| 3-1-2 醫藥品、化粧品用水的用途 | 151 |
| 3-1-3 醫藥品、化粧品用水的規格 | 152 |
| 3-1-4 醫藥品製造用水系統 | 154 |
| 3-1-5 系統的保養管理 | 163 |
| 3-2 無發熱性物質的水 | 166 |
| 3-2-1 系統 | 166 |
| 3-2-2 實施例 | 169 |
| 3-2-3 保養管理 | 171 |
| 3-3 注射用蒸餾水 | 172 |
| 3-3-1 發熱性物質與以蒸餾法除去 | 172 |
| 3-3-2 系統 | 173 |
| 3-4 化粧品用水 | 178 |
| 3-4-1 基本系統 | 178 |
| 3-4-2 應用例 | 178 |
| 3-4-3 限外過濾法 | 180 |
| 3-4-4 保養管理 | 181 |

第四章 醫院用水

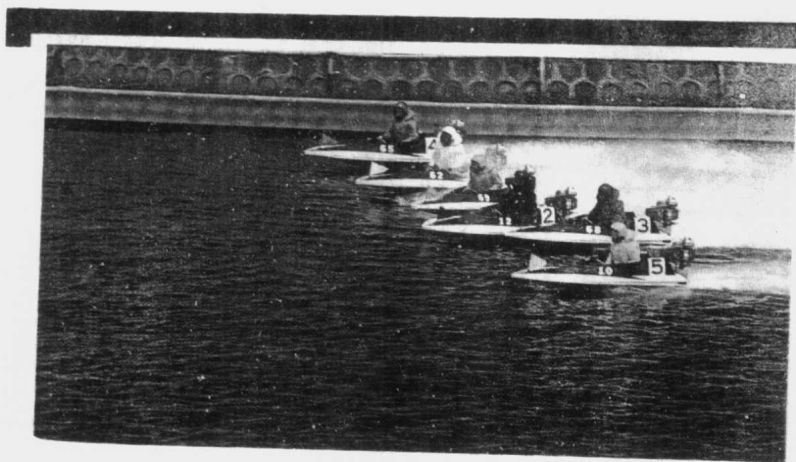
| | |
|-------------------|-----|
| 4-1 手術部用水系統 | 182 |
| 4-1-1 手術部用水 | 182 |
| 4-1-2 實施例 | 185 |

| | | |
|------------|-----------------|------------|
| 4-1-3 | 保養管理 | 189 |
| 4-2 | 調劑部用水系統 | 189 |
| 4-2-1 | 調劑部用水 | 189 |
| 4-2-2 | 實施例 | 190 |
| 4-2-3 | 保養管理 | 193 |
| 4-3 | 人工透析用水系統 | 193 |
| 4-3-1 | 人工透析用水 | 193 |
| 4-3-2 | 實施例 | 196 |
| 4-3-3 | 保養管理 | 198 |

第五章 研究室用小型純水系統

| | | |
|------------|-----------------------|------------|
| 5-1 | 概論 | 199 |
| 5-2 | 純水的規格 | 200 |
| 5-3 | 應用例別純水裝置的內容 | 201 |
| 5-3-1 | 液相層析用高純度水 | 201 |
| 5-3-2 | 原子吸光分析用高純度水 | 207 |
| 5-3-3 | 組織培養用調製用水所需的高純度水 | 207 |
| 5-3-4 | 遺傳子工學的培養用高純度水 | 208 |
| 5-4 | 保存容器所致純水的污染 | 209 |
| 5-5 | 對應於純水規格的各種純水裝置 | 211 |
| 5-6 | 結語 | 212 |

I 基礎





第一章 總論

1-1 水的性質及不純物與其影響

地球上水才有生命誕生，靠水的特異性質才能維持生命，所謂的特異性質是指無所不溶。水既是質子施主（proton donor），也是受主（proton acceptor），能與有 $-O-$ ， $-OH$ ， $>C=O$ 等官能基的化合物形成氫鍵，充分溶解。水的電介質常數高，易與離子水和，也很能溶解電解質。

1.1.1 水的構造與性質

水分子的構造如圖 1.1.1 所示，構造類似半徑約 0.16 nm 的球，氧原子與兩個氫原子的結合角（ $H-O-H$ ）為 104.5° 。氧原子部帶負電，氫原子部帶正電。分子中的正及負電荷中心不一致的水分子有永久雙極子（雙方電的極）。

雙極子接近離子時，如圖 1.1.2 所示，水的雙極子負部（氧原子部）欲配向於有正電荷的離子周圍，正部欲配向於有負電荷的離子周圍。此稱水和現象。離子與雙極子愈接近時，系的能量愈低。

例如欲將食鹽（無機鹽）分為鈉離子與氯離子時，需要很大的能量，但是，鈉離子與水分子或氯離子水和時放出的能量

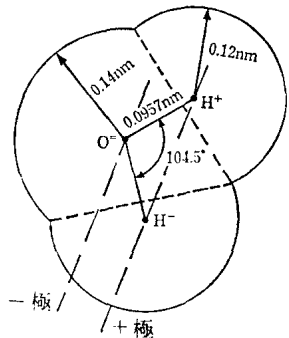
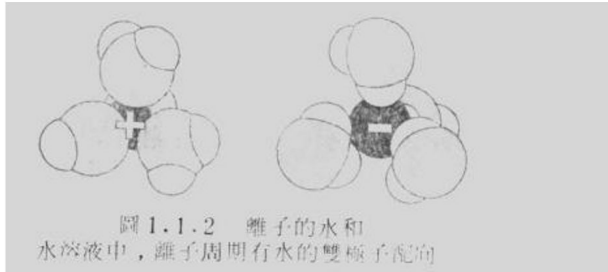


圖 1.1.1 水分子的形狀
氫原子，氧原子的凡得瓦爾力與
雙極半徑，結合距離（ $O-H$ ）
，結合角（ $H-O-H$ ）之值。



約略等於此大分解能。如此只把食鹽撒入水中，即可簡單溶化。水以此原理溶化各種電解質。

蛋白質等生物高分子表面有很多 $-C=O$ ， $N-H$ ， $-NH_2$ ， $-OH$ 等極性基，水分子仍會水和水而存在，水和存在的水中，緊鄰的水之單分子層特別稱為結合水。多個並排的極性基與水的水和作用遠強於低分子之類一個極性基與水的水和。

例如純水中，水彼此位置置換時為 2.5×10^{-12} s 級，此種生物高分子周圍的結合水與整團 (bulk) 水置換的時間為 10^{-6} s 級，運動減慢百萬分之一。另一方面，離子附近置換時間級約略等於純水中。

如此，微生物等典型生物高分子可安定存在於水中而生活。

1.1.2 天然水

地球表面的海水等地表水徐徐蒸發，再到達地表。到達地表的水一部份成為地下水或湖沼水，一部份成為河水，一部份成為冰、冰河、雪溪。此種陸水大都回歸大海，在途中，水溶解各種物質，所含物質來自土壤岩石、生命活動、人類活動。

表 1.1.1 為河水的組成，主要溶解成分有重碳酸離子、矽酸、硫酸離子、鈣離子、鈉離子、氯離子。表 1.1.2 以日本神奈川縣的相模川調查來自生命活動的物質——一般細菌、大腸菌群、生物學氧要求量 (BOD)。山中湖流來的桂川進入相模湖，再入津久井湖，在此成為相模川，進入相模灣。愈下游的細菌數、蒸發殘留物愈多。相模湖有某種程度的淨化作用。

地下水中源自生命的物質較少，但岩石、土壤溶出物多，各地方的組成大幅變動。

表 1.1.1 日本河川水的平均化學組成 (mg/l)

| 地區 | 採水河川數 | 鈣離子 Ca ⁺⁺ | 鎂離子 Mg ⁺⁺ | 鈉離子 Na+ | 鉀離子 K+ | 重碳酸鹽離子 HCO ₃ ⁻ | 硫酸鹽離子 SO ₄ ²⁻ | 氯離子 Cl ⁻ | 矽石份酸 SiO ₂ | 鐵 Fe | 磷酸 PO ₄ ³⁻ | 硝酸態氮 NO ₃ -N | 氨態氮 NH ₄ -N | 蒸發殘渣 | 浮游物 |
|-----|-------|----------------------|----------------------|---------|--------|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|-----------------------|------|----------------------------------|-------------------------|------------------------|-------|------|
| 北海道 | (22) | 8.3 | 2.3 | 9.2 | 1.45 | 33.9 | 10.7 | 9.0 | 23.6 | 0.50 | 0.01 | 0.51 | 0.06 | 87.9 | 76.9 |
| 東北 | (35) | 7.7 | 1.9 | 7.3 | 1.06 | 19.9 | 17.6 | 7.9 | 21.5 | 0.49 | 0.01 | 0.25 | 0.06 | 79.1 | 18.6 |
| 關中 | (11) | 12.7 | 2.9 | 7.3 | 1.43 | 42.4 | 15.9 | 6.1 | 23.1 | 0.23 | 0.03 | 0.29 | 0.08 | 93.5 | 22.1 |
| 關東 | (42) | 8.9 | 1.7 | 4.8 | 1.05 | 30.1 | 7.7 | 3.9 | 13.7 | 0.14 | 0.02 | 0.18 | 0.05 | 62.0 | 26.9 |
| 近畿 | (28) | 7.6 | 1.3 | 5.5 | 1.04 | 27.4 | 7.4 | 5.3 | 12.1 | 0.11 | 0.01 | 0.21 | 0.04 | 56.8 | 20.0 |
| 中國 | (25) | 6.7 | 1.1 | 6.5 | 0.94 | 27.2 | 4.4 | 6.6 | 14.1 | 0.05 | 0.00 | 0.20 | 0.03 | 56.7 | 7.4 |
| 四國 | (19) | 10.6 | 1.5 | 3.8 | 0.66 | 37.2 | 5.7 | 2.4 | 9.8 | 0.01 | 0.00 | 0.12 | 0.02 | 57.0 | 6.1 |
| 九州 | (13) | 10.0 | 2.7 | 8.6 | 1.84 | 40.9 | 13.1 | 4.6 | 32.2 | 0.13 | 0.01 | 0.20 | 0.04 | 106.0 | 29.8 |
| 全國 | (225) | 8.8 | 1.9 | 6.7 | 1.19 | 31.0 | 10.6 | 5.8 | 19.0 | 0.24 | 0.02 | 0.26 | 0.05 | 74.8 | 29.2 |

表 1.1.2 相模川的水質變遷

| | 山中湖出口 | | 相模湖入口 | | 相模湖出口 | | 津久井湖入口 | |
|-------------------|-------------------|-------------|------------------|--------------|------------------------------------|--------|---------------|---------|
| | 最低 | 最高 | 最低 | 最高 | 最低 | 最高 | 最低 | 最高 |
| 一般細菌 (個 / 100 ml) | 18~210 | 2700~5500 | 2700~5500 | 1500 | 380 | 1500 | 23 | 490 |
| 大腸菌群 (個PN/100ml) | 33~49 | 13000~33000 | 13000~33000 | 7900 | 2400 | 7900 | 0 | 710 |
| BOD (mg/l) | 0.7~1.3 | 2 | 0.9~4.1 | 1個月測定1次年間變動值 | 2.1 | 4.7 | 0.9 | 2.3 |
| 蒸發殘留物 (mg/l) | 45~52 | 114~118 | 102~104 | | | | | |
| | 津久井湖出口 (往橫濱水道) | | 相模大橋 (小田急線附近) | | 寒川取水口 (往橫濱・橫須賀水道) (東海道新幹線附近) | | 馬入橋 (河口附近) | |
| 一般細菌 (個 / 100ml) | 49 | 2600 | 5200 | 87600 | 4700 | 97000 | — | — |
| 大腸菌群 (個PN/100ml) | 0 | 3300 | 13000 | 63000 | 7000 | 130000 | 330 | 98000 |
| BOD (mg/l) | 0.4 | 2.8 | 1.0 | 7.4 | 1.3 | 2.6 | 1.1 | 6.3 |
| 蒸發殘留物 (mg/l) | 1.6 | 2.7 | 151 | 315 | 113 | 225 | — | — |
| | 550 | 2600 | 22000 | 87600 | 25000 | 97000 | — | — |
| | 1200 | 3300 | 63000 | 130000 | 36000 | 130000 | 330 | 1100000 |
| | 0.4 | 2.8 | 1.0 | 7.4 | 1.3 | 2.6 | 1.1 | 6.3 |
| | 1.6 | 2.7 | 151 | 315 | 113 | 225 | — | — |

1.1.3 純水、超純水

隨生活水準的提升及經濟活動的興盛，水的利用在質、量兩方面都增大。特別是隨工業的高度化，對水質的要求已向技術的極限挑戰。反過來說，水質升高的話，工業可更高度化。

雨、雪之類天水接近純粹的水，但吾人利用的陸水已非純水，須提升水質到要求的規格，才能供工業用。要求的水規格依使用目的而異。原料用水、製品用水之類成爲原料一部份的水或接觸原料、半製品等表面的水都須是良質。

蒸發殘留物數 mg/l (ppm) 以下的水稱爲純水，再依使用目的而增高純度的水〔水中殘留成分的量以 $\mu\text{g/l}$ (ppb)爲單位〕稱爲超純水。隨亞臨界壓、超臨界壓鍋爐、原子能工業、電子工業等高度技術的發展，超純水需要量激增。

1.1.4 水的純度

用什麼項目表示水的純度也是個問題，現在常用的是導電率、有機物含有量等，另依使用目的而以粒子數、粒子尺寸、微生物數、氧化矽含量、特定陽離子、陰離子表示，以導電率最容易測定。

1.1.5 各種工業中不純物的影響

(1) 電力及水蒸氣廠

水成水蒸氣時，固形分不論溶解性、非溶解性，都會在傳熱面形成水垢，熱傳達劣化，溶存氧與金屬化合，成爲腐蝕生成物，此種腐蝕生成物與氧化矽之類不純物一起析出於渦輪上，減低其效率，假定減低1%，日本全國即達100萬kW。銅特別容易出毛病，表1.1.3爲鍋爐給水基準一例。

(2) 核能發電

核能發電要求的水質與普通發電廠差不多，但因關連放射能而有下示特殊問題。

- 1) 氯化物所致不銹鋼的應力破裂。
- 2) 吸收中子的示踪物質積蓄放射能。